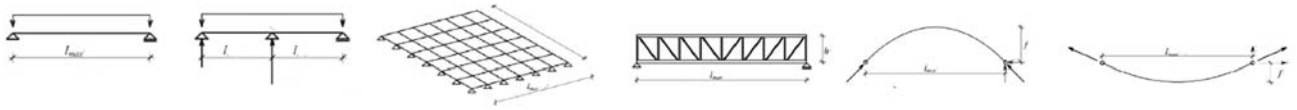


Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T1/1 – Nagyfesztávú szerkezetek

Háttér:

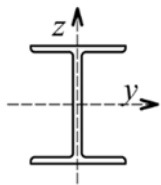


	A	B	C	D	E	F
	kéttámaszú	háromtámaszú	gerendrács	Rácsosan magasított IPE330	ívtartó	kötél
l_{max}	11	14	13-14	15	35	146
Teherbírás						X
Stabilitás/					X	
alakváltozás	X	X	X	X		

Vízszintes teherhordó szerkezeteink tervezésénél túlnyomó többségben hajlított szerkezeteket alkalmazunk (gerenda, lemez). Ezen szerkezetek anyagtól függően kis támaszköz esetén tekinthetők gazdaságos megoldásnak (a határ vasbetonnál 8-10 méter, előregyártott vasbetonnál 15-18 méter, acél gerendáknál 20-25 méter).

Ennél nagyobb fesztáv esetén a gerendák magasítása már nem gazdaságos, hiszen a hajlított tartó egyes keresztmetszetei igen alacsony kihasználtságúak. A statikai modell vagy a tartó geometriájának átalakításával, esetleg a kapcsolódó szerkezetek bevonásával is hatékonyan növelhetjük a tartók teherbírását (többszámú támaszítás, gerinc kikönnyítése, kétirányú teherhordás, ívtartó)

Gyakorlat célja:



IPE330

Az elemi statikai és szilárdságtani ismereteket és szemléletet leporolni. Egy acélszelvény vizsgálatával átbeszéljük, hogy a statikai modell változtatásával milyen kihasználtság érhető el a szerkezetben. Vizsgált megoldások: kéttámaszú tartó, háromtámaszú tartó, kétirányú gerendázat, rácsostartó, ívtartó, „kötél”.

Az egyes megoldások esetén értékeljük a statikai modell előnyeit és esetleges hátrányait. Jó példa erre az ívtartó esetében az alapozásnál fellépő vízszintes irányú támaszerő, illetve az aszimmetrikus terhekre való érzékenység.

Kapcsolódás a korábbi tárgyakhoz:

- keresztmetszet ellenállása, stabilitás (*Bevezetés, Szilant*):
 - $N_{Rd} = \chi_B A f_{yd}$
 - $M_{Rd} = \chi_{LT} W_{pl,y} f_{yd}$
- kéttámaszú tartó lehajlása (*Szilant*):
 - $w = \frac{5}{384} \frac{p_{ser} l^4}{EI_y}$
- teherfelvétel, terhek fajtái (*Modellezés*)

Kapcsolódás a szigorlathoz

Nagyfesztávú szerkezetek esetén a szerkezet értékelése: előnyök, hátrányok felismerése. Az alapvető szilárdságtani ismeretek segítségével összetettebb problémák megértése.

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T1/2 – Szintmagas tartók – Faltartó

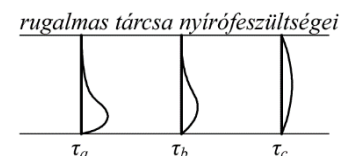
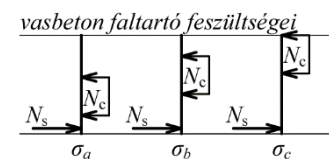
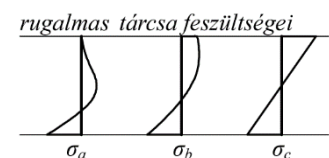
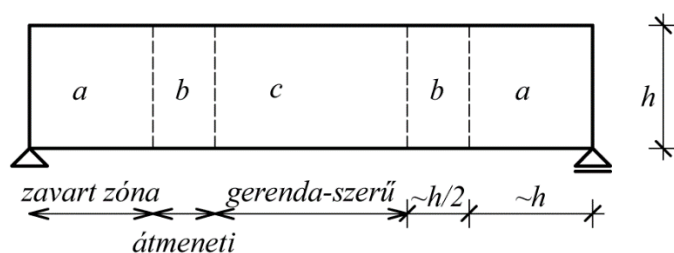
Háttér:

Szintmagas tartók alkalmazása igen célszerű lehet a magasépítésben: a tartókat össze lehet hangolni a falrendszerrel, a csatlakozó födéme pedig segíthetnek a kifordulással szemben.

Az eddigi tanulmányok során a nyírási deformációt elhanyagoltuk. Szemben a gerendákkal, faltartók esetén a nyírási deformációkból származó alakváltozások összemérhetőek a nyomatéki deformációval a támaszok közelében, így ún. zavart zóna alakul ki, ahol nem tekinthetjük igaznak a sík keresztmetszetek elvét. Pontosán kiszámolni a feszültségeket kézi módszerekkel nehézkes volna, így a szerkezet viselkedéséhez illeszkedő analógiát keresünk. A vasbeton faltartót vonórudas ívtartóként vizsgáljuk, ahol:

- az alsó húzott vasalásnak kell felvennie és a támaszokig továbbítania a vonórúdban ébredő húzást
- a beton keresztmetszet boltívként adja le a terheket a támaszokig.

Tartószerkezetek körében a nyírási deformációkat nem hagyhatjuk figyelmen kívül a magas rétegelt ragasztott fatartók és a kompozit anyagú szerkezetek esetén sem.

Gyakorlat célja

Bernoulli-Navier hipotézis nem teljesül, a tartó szélén a keresztmetszetek nem maradnak síkok!

A gyakorlat során egy faltartó lehetséges kialakítását és terheit vizsgáljuk. A tartó geometriája miatt ($l \leq 5h$) a gerendaszerű viselkedést csak a tartó egy közbenső szakaszán tekinthetjük igaznak. A vonórudas ívtartó analógia értelmében ügyelnünk kell arra, hogy az alsó húzott acélbetétekben kialakuló normálerőt a támaszokig kell vezetni, nem csökkenthető a vasalás intenzitása! Hívjuk fel a figyelmet, hogy a nyomatéki maximum helyén a felső vasbeton lemez részt vesz a nyomott betonzóna létrejöttében (emiat alakítható ki nyílás a fal közepén!), a támaszhoz közeledve azonban a fal keresztmetszetében kell, hogy kialakuljon a szükséges nyomott betonzóna. A támaszhoz közeledve ugyan csökken a nyomaték, de a hatékony magasság is egyre kisebb, így ugyanazt az N_c normálerőt kell felvennünk a falban, mint a nyomatéki maximum helyén.

Hívjuk fel továbbá a figyelmet, hogy a fal és a födém együttműködéséhez komoly nyírási vasalásra van szükség, amit a gyakorlat során nem vizsgálunk, továbbá, hogy a fal horpadásából származó tönkremenetelt is figyelembe kell venni ilyen szerkezetek méretezése során. → Mindezen hatások figyelembevételéhez a bemutatott kézi számítás természetesen nem elegendő, de nem is ez volt a cél!

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához**Kapcsolódás a korábbi tárgyakhoz:**

- keresztmetszet feszültség és nyúlás ábrái (*Szil2.*)
- hajlított vasbeton keresztmetszet erőjátéka: (*Vasbeton*)
 - $N_c = N_s, bx_c f_{cd} = A_s f_{yd}$
 - $M_{Rd} = bx_c f_{cd} (d - \frac{x_c}{2})$

Kapcsolódás a szigorlathoz: Sík keresztmetszetek elve mikor alkalmazható? Tudjon példát mutatni olyan helyzetre, ahol nem teljesül. Lehorgonyzás szerepe és lehetséges kialakítása.

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T2/1 – Szintmagas tartók – Vierendeel tartó

Háttér:

Szintmagas kiváltás esetén az építészeti igény és a helyes szerkezeti kialakítás nagyon eltérő megoldásra vezethet. Ugyanazon geometriával és terhekkel, de másfajta szerkezeti kialakítással rendelkező tartó igen eltérő lehet gazdaságossági szempontból.

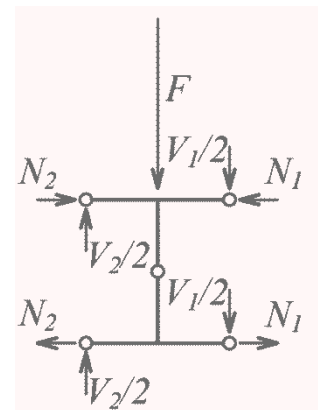
Gyakorlat célja:

A gyakorlat során bemutatjuk a Vierendeel tartó egyszerű, kézi számításának módját. A megoldás abból a szemléletből alakult ki, hogy a statikailag sokszorosán határozatlan tartó nyomatéki nullpontjai közel azonos merevségű gerenda és oszlop esetén jó közelítéssel az egyes rúdelemek középső keresztmetszetében vannak. Ezen pontokban csuklót feltételezve az azonos merevség kihasználásával az erőjáték számítható.

A rácsos tartóval szemben a Vierendeel tartó minden rúdjában a normálerőn kívül nyomaték és nyírőerő ébred, így a keresztmetszetek kihasználtsága egy elemen belül sem egyenletes (külponos húzás-nyomás).

A mértékadó keresztmetszetek igénybevételei alapján a megfelelő szelvény kiválasztása iteratív módon történik. A szelvény kihasználtságát **Dunkerley képlete** alapján végezzük el.

A Vierendeel-tartó és a rácsostartó szükséges anyagmennyiségét összehasonlíthatjuk, hogy az egyes szerkezetek gazdaságosságát szemléltessük.

**Kapcsolódás a korábbi tárgyakhoz:**

- Szerkezet egyes részeinek nyomatéki és vetületi egyensúlya (*Statika*)
- Acél keresztmetszet teherbírása (*Bevezetés, Modellézés*)

- Dunkerley összefüggés:
$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,0$$

Szigorlat

Mi a csukló? Rúdszerkezetek statikai modellje és a valóság közötti kapcsolat. Rúdszerkezetekben a rudak tipikus igénybevételeinek meghatározása

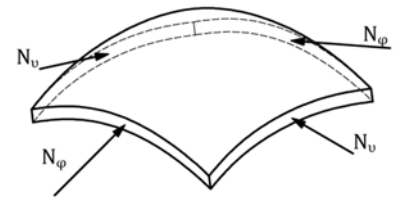
Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T3/1 – Önsúlyával terhelt gömbsüveg kupola metszeterői

Háttér

Héjszerkezeteket gyakran erőjátékuk szerint csoportosítjuk. Így megkülönböztetünk nyírásmentes héjat (hártya), hajlításmentes héjat (membrán) és hajlított héjat. Ha olyan térbeli szerkezetet akarunk létrehozni, amely membránerők segítségével egyensúlyozza a rájutó terheket, akkor görbült szerkezetre van szükségünk. A főgörbületi egyenlet (kazánképlet) segítségével a korábbi tanulmányok során (Bevezetés) számítottuk hengeres és gömbfelület belső erőit.

A kézi számítás során azonban a terhet szimmetrikusnak, a felületre merőlegesnek és állandó nagyságúnak tekintettük, s a felület görbületei a főgörbületi irányokban nem változtak. Amennyiben ezekkel az egyszerűsítésekkel nem élhetünk, a megoldandó feladat bonyolultabb.



A gyakorlat célja

Bemutatjuk egy önsúlyával – mint a szerkezet főterhével – terhelt gömbsüveg kupola metszeterőinek számítását. A teher változó, a felületre nem merőleges. Kiindulva a geometriai adottságokból a kazánképlet segítségével rövid levezetés után számolható a szerkezet egyes pontjaiban ébredő feszültség. A hajlításmentes héj (membrán) egyes főirányaihoz tartozó metszeterők nagysága a középponti szög függvényében változik. A meridián-irányú feszültségek a kupolában nyomást okoznak, míg a gyűrűirányú metszeterők előjelet váltanak.

Az „előjelváltás” magyarázza az építészettörténetben sokszor tapasztalt jelenséget, hogy gömbkupolák egy bizonyos magasságban cikkelyesen felhasadtak (vö.: *Szent Péter bazilika* – *G. Poleni*), a repedések azonban nem okozták a szerkezet tönkremenetelét, pusztán az erőjáték változott. A peremgyűrűben kialakuló igénybevétel szintén annak függvénye, hogy milyen lapos a kupola.

A levezetett összefüggések csak a bemutatott terhelés esetén igazak. Féloldalas teher, esetleg koncentrált teher esetén a belső erők egészen másként alakulnak ki!

Kapcsolódás a korábbi tárgyakhoz

- kazánképlet (*Bevezetés*)
- főirányok, főgörbület (*Sziltan*)

Szigorlat: gömbkupola belső erői.

- o önsúlyával terhelt kupola esetén:

$$N_{\varphi} = \frac{-R \cdot g_d}{1 + \cos \varphi}, \quad N_{\theta} = g_d R \left(\frac{+1}{1 + \cos \varphi} - \cos \varphi \right)$$

- o egyenleletesen megoszló teherrel terhelt lapos kupola

$$N_{\varphi} = \frac{-P_d R}{2}, \quad N_{\theta} = \frac{P_d R}{2} (1 - 2 \cos^2 \varphi)$$

Mit fejez ki a kazánképlet?

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T3/2 – Esernyőtető erőjátékának vizsgálata

Háttér

A gömbsüveg mellett a torznégyszög a legjellemzőbb héjfelület. Egyenes alkotókkal rendelkezik, amely lehetővé teszi a szerkezet egyszerűbb kivitelezését.

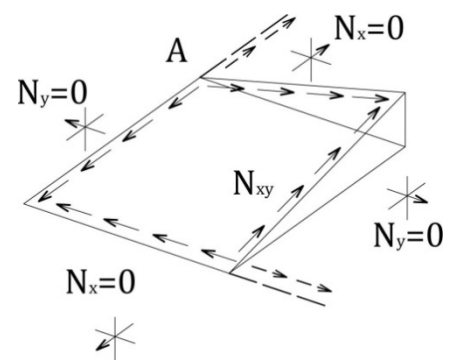
A szerkezet belső erőinek vizsgálatakor azt tapasztaljuk, hogy a peremen működő, az alkotókkal párhuzamos normálerők nem alkalmasak a teher egyensúlyozására. Azonban a peremeken működő nyíró metszeterők (N_{xy}) függőleges komponensei képesek egyensúlyozni a függőleges terhelést. A belső erők számításához a fögörbületi egyenlet alkalmazása nehézkes volna, mert a felület geometriája (*hiperbolikus paraboloid*) miatt a fögörbületekhez tartozó görbületi sugarak nem állnak rendelkezésre automatikusan. Azonban az egyszerű geometria és terhelés miatt könnyen számítható a peremeken működő metszeterők nagysága, amelyek a geometria miatt megegyeznek a felület bármely belső pontján működő metszeterőkkel.

A gyakorlat célja

Bemutatjuk egy összetettebb térbeli héj szerkezet erőjátékát. A belső erők számításához kihasználjuk, hogy a felületen egyenletesen megoszló teher közel azonos a vetületi teherrel, így a nyíró metszeterők nagysága egyszerűen számítható. A héj peremlein létrejövő nyíróerőt a *félmerev peremek* normálerőként továbbítják a támaszokra.

A gyakorlat során bemutatjuk a szerkezet aszimmetrikus teherre való erőjátékát. Ez a teherelrendezés jóval kedvezőtlenebb igénybevételeket eredményez a héjat megtámasztó szerkezetekben. Hangsúlyozzuk, hogy bár az EC nem írja elő, ilyen szerkezetek esetén számolnunk kell a féloldalas hóteher hatásával!

Elvégezzük a központosan nyomott peremgerenda, valamint a megtámasztó oszlopok és vonórudak közelítő méretfelvételét.



Kapcsolódás a korábban tanultakhoz

Nyírófeszültségek dualitási tétele (*Sziltan*)

Vetületi egyenleteknek térben kell teljesülnie, nem egy síkmetszeten! (*Statika*)

Húzott-nyomott elemek méretfelvétele (*Modellezés*)

Szigorlat

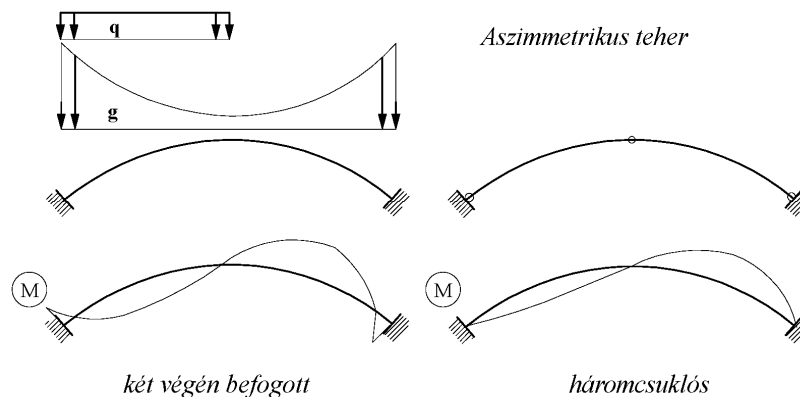
Aszimmetrikus teherelrendezés problémája, konkrét helyzetben ismerje fel, hogy ez mértékadó (lehet).

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T4 – Falazott boltív vizsgálata

Háttér

Falazott téglá boltozatokkal, boltívekkel nem csak a műemléki épületeinknél, de bérházak földemeinél, pincéknél, alagutaknál is találkozhatunk. A falazott szerkezetek számítása az anyagtulajdonságok pontos ismeretének hiánya (habarcs és téglá minőség), a terhek, az esetleges repedések és sérülések miatt nem egyszerű mérnöki feladat. A szerkezet ellenőrzésére azonban számos egyszerű, kézi és grafikai módszer kínálkozik, melyekkel adott teher esetén vizsgálható a megfelelőség.



A gyakorlat célja

A gyakorlat során bemutatjuk a nyomásvonalelmélet (ívelmélet) alapján egy aszimmetrikusan terhelt donga boltozat egy „szeletének” statikai ellenőrzését. A vizsgálatot [Dulácska 1994] alapján végezzük el. A statikailag háromszorosan határozatlan ívet háromcsuklós tartóként számítjuk, s a várhatóan maximális külpontosságú helyen ellenőrizzük a szerkezet megfelelőségét a húzószilárdság nélküli képlékeny keresztmetszet teherbírása alapján. A feltöltést közelítésként pusztán teherként vesszük figyelembe, oldalirányú megtámasztó hatásával nem számolunk.

Fontos megemlíteni, hogy ugyanezen teherintenzitás, de szimmetrikus elrendezés esetén a szerkezet megfelel! Hangsúlyozzuk, hogy meglévő szerkezetek esetén feltétlenül figyelembe kell venni az ilyen módon kedvezőtlen terhelést: a hasznos terhek „elosztásánál” a boltozatok egyenlőtlen terhelése – legyen az féloldalas, vagy valamely pontszerű terhelés – könnyedén a szerkezet tönkremeneteléhez vezethet (boltozott földemre való letámasztás; felújítás esetén féloldalas terhelés, feltöltés eltávolítása, stb...)

Szintén fontos megemlíteni, hogy boltozott szerkezetek esetén az oldalirányú támaszerő felvételét az alátámasztó falnak kell megoldania. Ezen fal leterhelésétől és oldalirányú megtámasztásától függ, hogy a boltvállak eltolódhatnak-e oldalirányban. Ilyen szempontból például bérházak szélső főfalánál mindenképpen figyelembe kell venni a boltozatok oldalnyomásának hatását, amennyiben az épület szerkezetében változtatás következik be (szint ráépítés vagy eltávolítás → leterhelés növekedés/csökkenése; pincei szélső főfalak mellett akna, árok ásása → oldalirányú megtámasztás; stb.)

Kapcsolódás a korábban tanultakhoz

Erő külpontossága (*Sziltan*)

Húzószilárdság nélküli, képlékeny keresztmetszet teherbírása (*Sziltan*)

Szigorlat

Boltozatok, ívek teherviselése. A nyomásvonal értelmezése. A leterhelés stabilizáló hatása. Húzószilárdság nélküli, képlékeny keresztmetszet feszültségi ábrája.

Dulácska E. Falazatok és boltozatok – Segédlet építészmérnök hallgatók részére, 1994 – A tanszéki fénymásolóban kapható; Hegyi D. Különleges tartószerkezetek – egyetemi jegyzet, online

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T5 – Kötélszerkezet vizsgálata

Háttér

Nagyfeszítávú szerkezetek esetén – ahogy az első táblai gyakorlaton is – az adott anyagi keresztmetszet szilárdságát a legjobban húzott szerkezet alkalmazásával használhatjuk ki. Ebben az esetben az elem stabilitási tönkremenetelével nem kell számolni, a keresztmetszet a szilárdsági határig terhelhető. Kötélszerkezet alkalmazása esetén ugyanakkor a szerkezet alaktartását biztosítani kell.

Feszített szerkezetek esetén a feszítés hatása ugyan a terhekből származó igénybevételekkel összemérhető nagyságú normálerőt eredményez, azonban kialakíthatók olyan rúdszerkezetek amelyekben kizárólag nyomott elemeket alkalmazunk.

A feszítés hatása a szerkezeten állandó hatásként jelenik meg, azonban értéke idővel változhat (anyag relaxációja), így utánfeszítés válhat szükségessé. A feszítés esetében a hatás oldalon kétféle biztonsági tényezőt kell figyelembe vennünk: kedvező esetben $\gamma_{P,fav}=1,0$; kedvezőtlen esetben $\gamma_{P,unfav}=1,3$.

Kábelekre jelenleg még nincs EC szabvány!

A gyakorlat célja

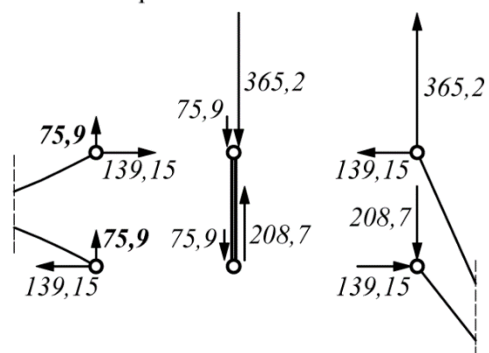
A gyakorlaton bemutatjuk egy kötélszerkezet erőjátékát. Az egyes kötél rácsostartók esetében a „nyomott öv” szerepét betöltő kábel előfeszítés alkalmazása miatt képes ellátni feladatát, a teher hatásából származó nyomóerő adja meg az előfeszítés minimálisan szükséges mértékét.

A szerkezet viselkedését az egyes hatások elkülönített vizsgálatával, majd az erők szuperpozíciójával mutatjuk be. A szerkezet megtámasztásához húzott lefeszítő kábelek szükségesek, amelyek az alapozásra is húzási igénybevételt jelentenek.

A húzott alaptest megfelelőségének vizsgálatát két módon számítjuk: súlyalap alkalmazásával, amely a talajra, mint húzószilárdság nélküli, képlékeny viselkedésű anyagra adja át a terheit, ezzel egyensúlyozva a merev alaptesten a kábelből és az oszlopról érkező normálerőt és nyomatékot. A másik megoldás szerint olyan talajhorgonyokat alkalmazunk, amelyek megfelelő hosszal kialakítva a talaj mélyebb rétegeibe vezetik le a húzó feszültségeket.

A gyakorlat során egyszerű becslési eljárást mutatunk be acél sodrony szükséges keresztmetszetének számításához, amelyek jó kapaszkodót jelentenek a közelítő méretfelvételnél. A pontosabb keresztmetszetek, illetve konkrét gyártmányok meghatározásához érdemes ellátogatni a gyártók weboldalára: [Pfeifer](#), [FUX](#), valamint ajánljuk a [membranedetail honlapot](#).

Terhelt állapot: teher



Kapcsolódás a korábban tanultakhoz

Hatások szuperpozíciója (*Statika*)

Teherkombinációk figyelembevétele (*Modellezés*)

Osztott biztonság elve (*Bevezetés, modellezés*)

Húzószilárdság nélküli képlékeny keresztmetszet egyensúlya (*Szil. I.*)

Húzott és nyomott acél elemek méretfelvétele (*Modellezés*)

Szigorlat

Kábelszerkezetek alaktartása. A feszítés előnyei-hátrányai. Kábel kapcsolatok kialakítása. Kedvező-kedvezőtlen hatások.

Összefoglaló a táblai gyakorlatok anyagához

T6 – Ponyvaszerkezet kézi számítása

Háttér

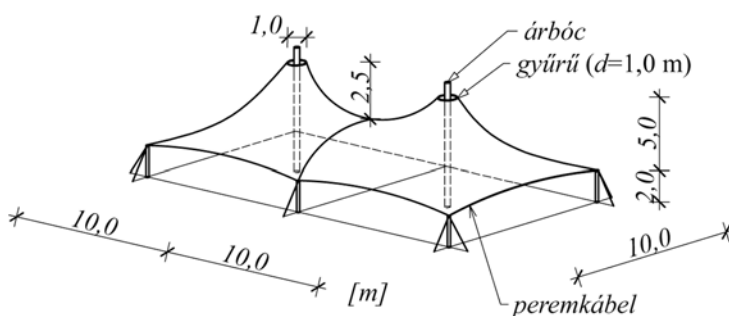
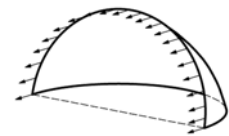
A ponyvaszerkezetek rokonok a kötél szerkezetekkel: a kötél szerkezetekhez hasonlóan a ponyva is csak húzóerő felvételére így hasonló konstrukciók építésére alkalmas. A ponyvaszerkezeteket textiliából építjük fel, amiből felületszerkezet alakítható ki, így az egyrétegű kötélhálókkal álnak rokonságban. A két szerkezet típus kialakításának alapelvei hasonlóak, a fő különbség abból adódik, hogy a felület és a vonalelem más kapcsolódási lehetőségeket, hálózati felépítést tesz lehetővé, illetve a ponyvaanyagok terhelhetősége sokkal lehatároltabb, mint a nagyszilárdságú acél huzaloké.

A félév első felében tárgyalt vasbeton héjak olyan szerkezetek voltak, ahol a szerkezet képes volt felvenni a szerkezet síkjában ébredő húzást, nyomást, valamint nyírás. Megfelelő geometriával kialakítva a falazott boltívek is hajlításmentes héjként működnek, azonban vastagságuknak köszönhetően a teher változásából kialakuló nyomatóéki igénybevételeket is hordani tudják.

A ponyva szerkezetek ugyanakkor hajlítás- és nyírásmentes felületek, a vékony anyag miatt csak húzás felvételére alkalmasak. A szerkezet alaktartásához – ahogy a kötél szerkezetek esetében is – feszítés szükséges.

A gyakorlat célja

A gyakorlat során kétféle sáterszerkezet erőjátékát számítjuk alapvető mechanikai megfontolások és egyszerű kézi számítások segítségével. A bemutatott légtartós sátor esetében fontos megfontolás annak a teherszintnek a meghatározása, amelyre a ponyva anyagát méretezni kell.



A feszítés másik szerkezeti módját, hiperbolikus felület alkalmazását mutatjuk be a második számpéldán. A két árbócos sátor szerkezet bonyolult erőjátékát pontosan csak nemlineáris véges elemes programmal lehet számítani, azonban az alkalmazott közelítések és megfontolások segítségével a kézi számítás is jó

eredményeket ad. A peremeken kábelekkel feszített ponyva szerkezet kritikus helyeinek meghatározásán és a szél- és hóteher hatására kialakuló igénybevételeinek számításán túl sor kerül a további szerkezeti elemek igénybevételeinek számítására és a megtámasztó szerkezet vizsgálatára.

A húzott alaptest tervezése a kábel szerkezetenél bemutatott módon történhet.

Kapcsolódás a korábban tanultakhoz

Főgörbületi összefüggés – Kazánképlet alkalmazása (*Bevezetés*)

Teherkombinációk (*Modellezés*)

Modellalkotás és statikai modell felvétel (*Modellezés*)

Szigorlathoz

Előfeszítés jelentősége. Alaktartás. Nyírásmentes héjak peremei. Nyírásmentes héjak erőjátéka. Főirányok.